

СИНТЕЗ ЦИФРОВЫХ РЕГУЛЯТОРОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ МАТЛАВ

Среди известных способов синтеза цифровых регуляторов можно выделить сравнительно простой и эффективный метод полиномиальных уравнений (р-уравнений), подробно описанный в [1,2]. Этот метод успешно используется для управления как электроприводами постоянного и переменного тока, так и различными технологическими процессами.

Для синтеза регулятора дискретная передаточная функция (ДПФ) объекта управления, состоящая из двух взаимно простых полиномов $P(z)$ и $Q(z)$ степени p_r и p_q соответственно, причем $p_r \leq p_q + i$,

$$W_o(z) = \frac{P(z)}{(z-1)^i Q(z)}, \quad (1)$$

подвергается факторизации, то есть выражение (1) представляется в виде:

$$W_o(z) = \frac{P(z)}{(z-1)^i Q_+(z) Q_{n+}(z)}, \quad (2)$$

где $P(z)$ – полином, включающий все нули ДПФ объекта; $Q_+(z)$ и $Q_{n+}(z)$ – полиномы от z , содержащие устойчивые и неустойчивые полюсы объекта; $Q_{n+}(z)$ и $Q_{n+}(z)$ – полиномы от z степени p_{q+} и p_{qn+} соответственно, содержащие компенсируемые и некомпенсируемые устойчивые полюсы объекта; i – количество интегрирующих звеньев в объекте.

При синтезе часть нулей и полюсов объекта могут компенсироваться регулятором. Неустойчивые нули и полюсы компенсировать недопустимо из условия работоспособности. Но, как показали исследования [3], компенсация устойчивых нулей также нежелательна из-за возникновения скрытых (между моментами квантования) колебаний выходной координаты и, что более важно, значительных колебаний управляющего воздействия и промежуточных координат объекта на частотах, вдвое больших частоты квантования. Поэтому в цифровых системах целесообразно ограничиться компенсацией лишь некоторых из устойчивых полюсов объекта. Тогда ДПФ цифрового регулятора можно записать следующим образом:

$$W_p(z) = \frac{M(z) Q_{n+}(z)}{N(z) (z-1)^j}, \quad (3)$$

где $M(z)$ и $N(z)$ – искомые полиномы степени p_m и p_n соответственно; j – количество интегрирующих звеньев регулятора, обеспечивающих требуемый порядок астатизма $i+j$ замкнутой системы. Степени искомых полиномов должны удовлетворять условию

$$p_m + p_{q+} = p_n + j. \quad (4)$$

Основой для синтеза служит ДПФ замкнутой системы по ошибке:

$$G_s(z) = \frac{(z-1)^{i+j} N(z) Q_{n+}(z) Q_-(z)}{(z-1)^{i+j} N(z) Q_{n+}(z) Q_-(z) + P(z) M(z)}.$$

Степень множителя $(z-1)$ в числителе этой ДПФ определяет желаемый порядок астатизма системы по управляющему воздействию, при этом имеется свобода выбора j . Приравняв знаменатель передаточной функции к желаемому характеристическому уравнению замкнутой системы $A(z)$, получим полиномиальное уравнение синтеза:

$$(z-1)^{i+j} N(z) Q_{n+}(z) Q_{-}(z) + P(z) M(z) = A(z). \quad (5)$$

Степени полиномов, соответствующих минимальному решению уравнения и обеспечивающих теоретически любое качество регулирования, определяемое $A(z)$, можно найти по следующим формулам:

$$n_A = 2n_Q - n_{Q_k} + 2i + j - 1; \quad n_N = n_Q + i - 1; \quad n_M = 2n_Q - n_{Q_k} + i + j - 1.$$

Задача нахождения решения уравнения (5), как известно из линейной алгебры, не является однозначной, что может приводить к перебору нескольких вариантов решения r -уравнения. Кроме того, при синтезе систем управления для сложных объектов (например, многомассовые системы электропривода, частотно-регулируемые асинхронные электроприводы и т.д.) задача сводится к решению системы алгебраических уравнений высокого порядка. Поэтому решение таких задач сопряжено со значительной сложностью расчетов, большими затратами времени и ручного труда, может приводить к ошибкам, связанным с использованием громоздких выражений в процессе решения уравнения. Поэтому была поставлена и решена задача автоматизации процесса синтеза цифрового регулятора, что позволило относительно просто, при минимальных затратах времени и ручного труда выполнить синтез регулятора методом дискретных полиномиальных уравнений.

Для решения поставленной задачи в системе компьютерной математики MATLAB была разработана программа "Regulator".

Программа автоматически выполняет следующие основные этапы синтеза:

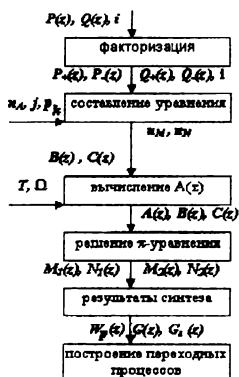
- факторизацию объекта регулирования;
- формирование полиномиального уравнения синтеза;
- расчет характеристического полинома;
- нахождение и выбор минимального решения составленного уравнения;
- синтез физически реализуемого регулятора, не вносящего дополнительного запаздывания в контур регулирования;
- расчет ДПФ замкнутой системы $G(z)$ и передаточной функции ошибки $G_e(z)$;
- построение переходной характеристики замкнутой системы.

В программе предусмотрен контроль корректности решения r -уравнения и правильности выбора минимальных степеней полиномов $M(z)$ и $N(z)$, входящих в ДПФ регулятора. Это позволяет в некоторой степени оградить пользователя от неверных результатов, появление которых возможно в силу ошибок вычисления MATLAB, связанных с несовершенством методик вычисления и алгоритмов, заложенных в саму программу.

В процессе синтеза имеется возможность задания порядка астатизма по управляющему воздействию; периода дискретности системы T ; величины среднегеометрического корня Ω , определяющего быстродействие системы; степени

и распределения корней характеристического полинома $A(z)$, обуславливающего вид переходного процесса; выбора полюсов объекта, которые могут быть скомпенсированы для повышения качества регулирования.

Программа выполнена в виде нескольких модулей, что позволяет просто выполнить отладку программы, включить дополнительный модуль в программу, применить уже используемые в других программах модули, использовать нужный модуль для выполнения промежуточной операции синтеза, когда применение всей программы не требуется.



На рисунке представлена структура программы "Regulator". Как видно из рисунка, программа состоит из пяти основных модулей.

1. Модуль факторизации объекта управления, выполняет преобразование выражения (1) к виду (2), что необходимо для составления π -уравнения синтеза.

2. Модуль формирования уравнения синтеза предлагает выбрать компенсируемые полюсы объекта p_r , после чего на основании степеней полиномов $P(z)$, $Q(z)$, $A(z)$ анализируется возможность получения регулятора $W_p(z)$, удовлетворяющего условию (4), определяются полиномы $B(z)$ и $C(z)$, составляющие уравнение синтеза. На этом этапе также происходит

нахождение степеней полиномов $N(z)$ и $M(z)$, входящих в передаточную функцию регулятора (3).

3. Модуль вычисления характеристического полинома на основании информации о периоде дискретности T и величине Ω вычисляет полином системы $A(z)$.

4. Модуль решения полиномиального уравнения находит минимальные решения π -уравнения с использованием алгоритма Евклида [1].

5. Модуль проверки и вывода конечных результатов выполняет проверку правильности и выбор нужного решения уравнения, формирование передаточной функции регулятора $W_p(z)$, ДПФ замкнутой системы по управляющему воздействию $G(z)$ и по ошибке $G_e(z)$. Здесь также производится расчет и построение переходного процесса в замкнутой системе.

Библиографический список

1. Волгин Л.Н. Оптимальное дискретное управление динамическими системами. /Под ред. П.Д. Крутько. М.: Наука, 1986. 240 с.
2. Цыпкин Я.З. Теория линейных импульсных систем. М.: Физматгиз, 1963. 968 с.
3. Ишматов З.Ш. Использование метода полиномиальных уравнений для синтеза микропроцессорных систем управления электроприводами // Электротехника. 2003. №6.
4. Ишматов З.Ш., Казаков Е.Г., Кириллов А.В. Методы синтеза микропроцессорных систем управления электроприводами. Екатеринбург: УГТУ, 2000. 48 с.